

Modelo autologístico espaço-temporal com aplicação à análise de padrões espaciais da leprose-dos-citros

Luziane Franciscon⁽¹⁾, Paulo Justiniano Ribeiro Junior⁽²⁾, Elias Teixeira Krainski⁽²⁾, Renato Beozzo Bassanezi⁽³⁾ e Ana Beatriz Costa Czermaini⁽⁴⁾

⁽¹⁾Embrapa Suínos e Aves, Caixa Postal 21, CEP 89700-000 Concórdia, SC. E-mail: luziane@cnpas.embrapa.br ⁽²⁾Universidade Federal do Paraná, Laboratório de Estatística e Geoinformação, Caixa Postal 19.081, CEP 81531-990 Curitiba, PR. E-mail: paulojus@ufpr.br, elias@leg.ufpr.br ⁽³⁾Fundecitrus, Departamento Científico, Caixa Postal 391, CEP 14801-970 Araraquara, SP. E-mail: rbbassanezi@fundecitrus.com.br

⁽⁴⁾Embrapa Uva e Vinho, Caixa Postal 130, CEP 95700-000 Bento Gonçalves, RS. E-mail: ana@cnpuv.embrapa.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi propor estratégias de modelagem aplicadas aos dados de incidência de leprose-dos-citros, por meio do uso de um modelo autologístico espaço-temporal. A adequação do modelo autologístico foi avaliada quanto à: análise de dados provenientes de avaliações feitas em diferentes momentos; detecção de padrões espaciais da doença, pela avaliação de diferentes estruturas de vizinhança; consideração do efeito defasado no tempo de covariáveis de vizinhança; e ao efeito do ácaro transmissor na probabilidade de nova infecção. O modelo autologístico espaço-temporal adotado estendeu o modelo logístico usual, em que a estrutura de vizinhança é descrita por meio da construção de covariáveis, a partir da resposta observada em plantas vizinhas à planta avaliada, na mesma avaliação, ou em avaliações anteriores. Os dados de incidência de leprose nas plantas de citros foram coletados em pontos referenciados no espaço, durante aproximadamente dois anos. Os modelos detectam o efeito da presença do vetor e os padrões espaciais na ocorrência de novas infecções, tanto para covariáveis de vizinhança da mesma avaliação, quanto para covariáveis de vizinhança da avaliação anterior. Além disso, os modelos considerados permitem quantificar as variações na probabilidade de ocorrência da doença de acordo com o estado da doença e com a incidência do ácaro transmissor.

Termos para indexação: *Brevipalpus phoenicis*, *Citrus leprosis virus*, *Citrus sinensis*, estatística espacial, estruturas de vizinhança, pseudo-verossimilhança.

Spatial temporal autologistic model with an application to the analysis of spatial patterns of citrus leprosis

Abstract – The goal of this study was to propose modeling strategies applied to the analysis of citrus leprosis incidence, through the use of a spatial temporal autologistic model. We evaluated the adequacy of autologistic model to consider data collected at different times; to detect spatial-temporal patterns through different neighboring structures; to consider the effect of covariates from previous times; and assessing the effect of the presence of the disease vector in the probability of new infections occurrence. The spatial temporal autologistic model adopted has extended the usual logistic model, in which the neighboring structures is described by means of covariates built from the status of plants nearby, at the same or at previous times. Data regarding the presence of the leprosis on plants were collected at field points referenced in space, over a period of approximately two years. Models detect the presence of spatial patterns on new infections for the studied neighboring structures, at the same or previous time. Additionally, probability estimates of a plant become infected can be obtained from the fitted models, given the occurrence of the disease and vector.

Index terms: *Brevipalpus phoenicis*, *Citrus leprosis virus*, *Citrus sinensis*, spatial statistics, neighbor structures, pseudo-likelihood.

Introdução

Entre os fatores que limitam a produtividade da citricultura brasileira e aumentam seus custos de produção destacam-se as doenças, principalmente as viroses, como a leprose-dos-citros (Bastianel et al., 2006). Causada pelo *Citrus leprosis virus* (CiLV),

é uma doença endêmica nas regiões produtoras do Estado de São Paulo e reduz a produção e o período de vida útil das plantas afetadas (Rodrigues, 2000). Como o CiLV não é sistêmico (Marques et al., 2007) e não é naturalmente transmitido por material propagativo infectado e nem mecanicamente, a dispersão da doença no campo ocorre exclusivamente pela alimentação e

circulação do ácaro *Brevipalpus phoenicis* Geijskes na planta e entre as plantas afetadas (Rodrigues, 2000). O estudo da relação espacial e temporal da associação entre a incidência de plantas infestadas por *B. phoenicis* e a incidência de leprose-dos-citros pode trazer estimativas mais precisas sobre o crescimento de epidemias, no tempo e no espaço (Czermainski, 2006). O conhecimento desses padrões auxilia a descrição da dinâmica da doença, levanta ou avalia hipóteses biológicas sobre mecanismos de propagação e orienta na proposição de métodos para controle da epidemia focados na presença da doença, e não somente na presença do vetor (Bassanezi & Laranjeira, 2007).

O modelo autológico (Besag, 1972) é uma proposta para descrever a incidência de doenças em plantas, e considera o estado da planta em um sistema de resposta binário (presença ou ausência de sintomas), com incorporação da dependência espacial, ou autocorrelação espacial, a partir do estado da doença em plantas vizinhas (Krainski et al., 2008). A escolha de plantas vizinhas a serem utilizadas na construção das covariáveis define a estrutura de vizinhança assumida pelo modelo. O modelo autológico estende o modelo logístico usual, pertencente à família dos modelos lineares generalizados (McCullagh & Nelder, 1989; Demétrio & Cordeiro, 2007), e constrói covariáveis a partir da resposta observada na vizinhança de cada planta, por meio da configuração espacial dos dados de incidência de doenças.

Em plantas cítricas, os dados de incidência de doenças podem ser coletados em inspeções periódicas dos pomares, o que exige extensões temporais de modelos espaciais tais como o modelo autológico. Krainski et al. (2008) ajustaram modelos autológicos para incidência de morte súbita em citros de forma a analisar a presença da doença em plantas vizinhas, no tempo contemporâneo à avaliação, no tempo anterior, e em um modelo que considerava ambos os tempos. Czermainski (2006) ajustou modelos para dados de leprose-dos-citros e observou a influência das covariáveis de vizinhança defasadas no tempo. Em ambos os estudos, um modelo para cada uma das avaliações foi ajustado. Contudo, a construção de um modelo único, que incorpore os dados de todas as avaliações, pode trazer mais informações sobre os patossistemas estudados.

O modelo autológico descreve de forma explícita o padrão espacial de doenças em plantas, detectando

a existência de padrões e quantificando o efeito da presença da doença, em diferentes estruturas de vizinhança, sobre a probabilidade de uma planta tornar-se doente. Determinar a probabilidade de uma planta estar doente, dado o estado das plantas na vizinhança, contribui na compreensão da dinâmica da doença no campo. Modelos autológicos espaço-temporais que tratam conjuntamente dados provenientes de diversas avaliações ao longo do tempo e considerem as estruturas de vizinhança no espaço e no tempo, bem como a relação entre a presença do vetor e a probabilidade de ocorrência da doença, são de grande interesse nesse contexto.

O objetivo deste trabalho foi propor estratégias de modelagem aplicadas aos dados de incidência de leprose-dos-citros, por meio do uso de um modelo autológico espaço-temporal e avaliar a adequação do modelo autológico no que se refere à: análise de dados provenientes de avaliações feitas em diferentes momentos; detecção de padrões espaciais da doença, pela avaliação de diferentes estruturas de vizinhança; consideração do efeito defasado de covariáveis de vizinhança; e à avaliação do efeito do ácaro transmissor na probabilidade de nova infecção.

Material e Métodos

Para a construção do modelo autológico espaço-temporal, foram analisados dados de incidência de leprose-dos-citros em um talhão de laranjeira 'Valência', enxertada sobre limoeiro 'Cravo', plantado em 1996 e localizado no município de Santa Cruz do Rio Pardo, SP (22°53'56"S, 49°37'58"W). O talhão apresentava 20 linhas de plantas, com 58 plantas em cada linha. O espaçamento entre linhas era de 7,5 e 3,8 m, na linha. Os dados foram coletados em 23 avaliações, em intervalos de aproximadamente 22 dias, entre 6/2003 e 11/2004. Nesse período, não foram realizadas pulverizações com acaricidas no talhão, de modo a não afetar a população do ácaro da leprose.

Nas avaliações, foram coletadas informações sobre os sintomas da doença e a presença do ácaro transmissor, em cada planta do talhão. A avaliação dos sintomas da doença foi feita pela contagem de frutos, ramos e folhas, em 25 frutos, 25 folhas e 25 ramos por quadrante do dossel, amostrados a esmo (Czermainski, 2006), num total de 100 unidades de observação, por tipo de estrutura por planta. O número de ácaros

da leprose, em todas as plantas, foi obtido pela observação em cinco frutos, localizados no interior das copas, provenientes da florada principal, e em cinco ramos externos da copa (Czermainski, 2006). A partir dos registros de infestação de ácaros e de infecção pelo CiLV (sintomas da doença) nas plantas, foram obtidas as incidências codificadas de maneira binária: 0 representa a ausência do evento “presença de ácaro ou de sintoma”; e 1 representa a presença do evento. Também foi registrado o número de ácaros na planta.

Krainski et al. (2008) descreveu o modelo autológico aplicado a um único instante de tempo. Tal modelo foi expandido neste artigo para estimar a probabilidade de determinada planta, na i -ésima linha e j -ésima coluna, estar doente, por meio da combinação linear do estado da doença (doente ou sadia) nas plantas vizinhas, além de outras possíveis covariáveis. Neste artigo, foram consideradas como resposta, em cada tempo, somente as plantas que não estavam infectadas no instante anterior, ou seja, foi modelada a probabilidade de ocorrência de uma nova infecção, por meio da seguinte equação:

$$P(Y_{ijt} = 1 | x_{ij}, y_{ijt}) = \frac{\Delta_t \exp(\eta_{ijt})}{1 + \Delta_t \exp(\eta_{ijt})}, \quad (1)$$

em que: $\eta_{ijt} = \beta_0 + \sum_{k=1}^r \beta_k x_{ijk} + \sum_{m=1}^s \lambda_m y_{ijtm}$; x_{ijk} representa as covariáveis usuais associadas à planta na i -ésima linha e j -ésima coluna; y_{ijtm} representa as covariáveis de vizinhança da ij -ésima planta no tempo t ; os termos β 's são parâmetros usuais de regressão de ordem k ; λ 's são parâmetros que quantificam a autocorrelação espacial da estrutura de vizinhança de ordem m ; e Δ_t , considerado um “offset” no modelo, são os intervalos de tempo entre avaliações, tratados nas análises como termos de correção dos valores observados para diferentes intervalos de tempo, a fim de torná-los comparáveis (Besag, 1972). Particularmente, o trabalho assumiu as seguintes covariáveis de vizinhança: $Y_{ij1t} = (y_{i-1,j,t} + y_{i+1,j,t})$, $Y_{2ijt} = (y_{i,j-1,t} + y_{i,j+1,t})$ que formam, respectivamente, a covariável dentro da linha de plantio e a covariável entre as linhas de plantio.

O método de estimação dos parâmetros usado foi o de pseudo-verossimilhança (Besag, 1975), definida como o conjunto de valores que maximiza o logaritmo da função de pseudo-verossimilhança (Viola et al., 2008):

$$l(p_i) = \sum_{i=1}^n y_i \log(p_i) + \sum_{i=1}^n (1 - y_i) \log(1 - p_i)$$

Entretanto, os erros-padrão desses estimadores são inválidos em razão da reutilização dos dados, na construção das covariáveis. Gumpertz et al. (1997)

sugerem um procedimento “bootstrap” utilizando o amostrador de Gibbs, para manter o padrão espacial dos dados na re-amostragem. Krainski et al. (2008) descrevem um algoritmo implementado que permite a obtenção das estimativas e erros-padrão por re-amostragem.

Para a análise dos dados de presença de novos casos de incidência de leprose, foram adotados diferentes modelos autológicos espaço-temporais. Os modelos testados incluíram covariáveis construídas a partir da incidência da doença em plantas vizinhas no mesmo instante e em instantes anteriores à incidência. Considerou-se, ainda, a inclusão de termos que refletissem a presença da doença e a presença ou o número de ácaros observados em avaliações anteriores na própria planta. As equações dos diferentes modelos autológicos considerados estão apresentadas na Tabela 1. Os modelos diferem quanto às covariáveis que são incluídas, e apresentam covariáveis usuais x_{ijk} , que refletem a presença do ácaro transmissor em cada planta, na i -ésima linha e j -ésima coluna. Foram consideradas duas formas para essas covariáveis: x_{ij1} , que é a presença ou ausência do ácaro na planta, na avaliação anterior ($t-1$); e x_{ij2} , que é o número de ácaros na planta.

A primeira alternativa considerada foi a de modelar os dados de uma avaliação t , considerando covariáveis de vizinhança dentro da linha e entre linhas de plantas no período de tempo anterior $t-1$. Esse modelo (M1) permite verificar se o estado da doença na planta pode estar determinado pela condição dessa planta no tempo anterior, além de refletir o contágio pela existência da doença na vizinhança no passado.

Tabela 1. Equações dos modelos autológicos espaço-temporais propostos para o ajuste dos dados binários de incidência de leprose-dos-citros.

Modelos	Equações
M1	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{i(i,j,t-1)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t-1)}$
M2	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{i(i,j,t)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t)}$
M3	$\beta_0 + \beta_1 X_{ij1}$
M4	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{i(i,j,t-1)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t-1)} + \beta_1 X_{ij1}$
M5	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{i(i,j,t)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t)} + \beta_1 X_{ij1}$
M6	$\beta_0 + \beta_1 X_{ij2}$
M7	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{i(i,j,t-1)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t-1)} + \beta_1 X_{ij2}$
M8	$\beta_0 + \lambda_1 Y_{i(i,j,t)} + \lambda_2 Y_{2(i,j,t)} + \beta_1 X_{ij2}$

O segundo modelo (M2) considerou as mesmas covariáveis de vizinhança do modelo M1, porém em uma mesma avaliação. Esse modelo reflete um contágio por fontes adicionais que não foram capturadas no M1, talvez por outros aspectos que não só a influência das plantas vizinhas doentes na avaliação anterior.

A incidência de *B. phoenicis* na planta, em avaliações anteriores, pode influenciar a probabilidade de a planta apresentar os sintomas da doença na avaliação atual, uma vez que, após a inoculação do vírus pelo ácaro, existe um período de incubação da doença de 17 a 60 dias para o aparecimento dos primeiros sintomas (Rossetti et al., 1969; Chiavegato et al., 1982). A fim de avaliar e quantificar esse efeito, uma covariável foi construída a partir da ocorrência do ácaro e acrescentada aos modelos anteriores, com definição de três novos modelos: M3, M4 e M5, sendo que M3 não considera covariáveis de vizinhança, mas M4 e M5 as consideram da mesma forma que M1 e M2, respectivamente. Avaliou-se, ainda, se o número de ácaros na planta poderia explicar melhor a probabilidade de ocorrência da leprose, ao invés da simples incidência do ácaro, o que deu origem aos modelos M6, M7 e M8.

Os modelos considerados sugerem, por meio das covariáveis incluídas, diferentes formas de explicar a dispersão da doença, que pode ser avaliada pela comparação entre seus ajustes, o que é determinado pelo valor da verossimilhança maximizada. Os modelos também foram comparados pelo critério de informação de Akaike (AIC), segundo o qual o melhor modelo é o que apresenta o menor valor. O AIC é dado por $2 \cdot \log(L(\hat{\lambda}, y)) + 2k$, em que a verossimilhança maximizada é penalizada por k (número de parâmetros incluídos no modelo).

As análises foram implementadas no ambiente estatístico R (R Development Core Team, 2008), com uso do stLattice (Krauski & Ribeiro Júnior, 2008). Os dados e os códigos estão disponíveis na página de “paper companions” do LEG/UFPR (<http://www.leg.ufpr.br/papercompanions>).

Resultados e Discussão

A incidência de leprose foi de 0,1%, na primeira avaliação, e atingiu 32,76%, na última avaliação. As estimativas dos parâmetros e a correspondente significância, bem como os valores dos AIC, associados a cada modelo ajustado, são mostrados na Tabela 2. Foram obtidas estimativas significativas dos

coeficientes nos modelos ajustados, o que indica que foi detectado padrão espacial na ocorrência de novos casos da doença. Ao se fazer a comparação dos valores de AIC dos modelos M3 com M4 e M5, e ainda M6 com M7 e M8, na Tabela 2, observa-se que o padrão espacial está presente, e que os modelos que incluem o estado da doença, em plantas vizinhas, possuem melhor ajuste. Nos modelos que incluíram covariáveis de vizinhança, tanto o efeito de plantas infectadas na linha de plantio quanto entre as linhas se mostraram significativos. Esse resultado corrobora os resultados de Czermainski (2006) e de Bassanezi & Laranjeira (2007), que observaram padrões de agregação para as plantas com sintomas de leprose-dos-citros, e mostraram que plantas mais próximas das infectadas são mais susceptíveis ao contágio da doença, o que indicaria que o movimento do ácaro infectivo ocorre preferencialmente entre plantas dentro da linha de plantio, ou seja, a curtas distâncias (Bassanezi & Laranjeira, 2007).

Nas comparações de modelos mencionados anteriormente, observa-se ainda que a inclusão das variáveis de vizinhança torna não-significativo o coeficiente da covariável contagem de ácaros. Os modelos que incluíram a covariável presença do ácaro apresentaram ajustes superiores aos correspondentes sem essa covariável, e as comparações de M4 com M1 e M5 com M2 confirmam esse resultado. Os modelos M4 e M5 mostraram ajustes superiores aos correspondentes M7 e M8, o que indica que o uso do número de ácaros não melhora o ajuste em comparação à simples anotação de presença ou ausência. Portanto, considerar o número de ácaros por planta não implicou em vantagens no ajustamento, em relação à incidência binária (presença/ausência) do

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros e significância para os modelos ajustados aos dados de incidência de leprose-dos-citros.

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\lambda}_1$	$\hat{\lambda}_2$	$\hat{\beta}_1$	AIC ⁽¹⁾
M1	-4,3744**	1,2305**	0,6336**	-	3.535,76
M2	-4,7046**	1,5493**	0,6166**	-	3.223,65
M3	-3,9653**	-	-	0,6520**	3.916,31
M4	-4,4350**	1,2139**	0,6104**	0,3096	3.530,81
M5	-4,7482**	1,5404**	0,6011**	0,2258*	3.222,10
M6	-3,8471**	-	-	0,0155**	3.940,36
M7	-4,3770**	1,2295**	0,6309**	0,0016	3.537,68
M8	-4,6998**	1,5516**	0,6208**	0,0031	3.225,37

⁽¹⁾Critério de Informação de Akaike. * e **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

ácaro na planta. Na prática, esse resultado significa que, para a estimativa do nível de controle do ácaro da leprose, bastaria apenas quantificar a proporção de órgãos das plantas com a presença do ácaro, sem a necessidade de contagem do número de ácaros por órgão. Estando o ácaro infectivo, a presença de um como de vários ácaros é suficiente para determinar se a planta ficará doente ou não.

A comparação dos valores de AIC de M1 com M2, M5 com M4 e M8 com M7, na Tabela 2, mostra que os modelos com covariáveis de estrutura de vizinhança, na mesma avaliação, apresentam melhor ajuste do que as construídas com observações da avaliação anterior. Entretanto, no segundo caso, as covariáveis de vizinhança permaneceram significativas, o que é interessante, na prática, por permitir antecipar resultados de um próximo instante de tempo. Portanto, covariáveis na mesma avaliação apresentam melhor capacidade descritiva, enquanto que, na avaliação anterior, conferem poder preditivo ao modelo.

Por meio dos coeficientes dos modelos ajustados, pôde-se calcular pela equação (1) a probabilidade de a planta estar doente, de acordo com o estado das plantas vizinhas (doentes ou não doentes) e da sanidade da planta (apresenta ou não a incidência do ácaro), na avaliação anterior. Os resultados desses cálculos mostram que a probabilidade de a planta apresentar a doença – dado que as duas plantas vizinhas na linha de plantio e as duas plantas vizinhas entre linhas (vizinhas das linhas adjacentes) estejam doentes, além de a planta apresentar incidência de ácaro na avaliação anterior – é de 0,383. Por outro lado, a probabilidade de a planta apresentar a doença – dado que as duas plantas na linha e entre linhas estejam doentes, e que a planta não apresente incidência de ácaro na avaliação anterior – é de 0,313. Portanto, em um período de tempo de aproximadamente 22 dias (intervalo aproximado entre as avaliações), uma planta sadia tem mais chance de adquirir o vírus se estiver hospedando o ácaro vetor e se as duas plantas vizinhas na linha e as duas entre linhas de plantas estiverem doentes, o que era esperado, em razão da baixa mobilidade do ácaro (Bassanezi & Laranjeira, 2007).

Para se observar somente a influência do estado das plantas vizinhas, sem considerar a presença do ácaro, os cálculos das probabilidades mostram que uma planta sadia tem probabilidade de 0,075 de apresentar leprose se uma planta vizinha na linha de plantio e outra planta

vizinha entre as linhas estiverem doentes. Quando há duas plantas vizinhas doentes, dentro da linha, a probabilidade de a planta apresentar a doença é maior (0,129), se comparado com duas plantas doentes entre as linhas de plantio (0,043). Esse resultados devem-se, provavelmente, ao menor espaçamento entre as plantas nas linhas de plantio do que entre as linhas.

A metodologia apresentada aqui não é restrita à análise de dados com incidência de leprose-dos-citros, e pode ser usada na avaliação de padrões espaço-temporais e efeitos de fatores que afetem doenças de plantas em condições análogas de configuração espacial e disponibilidade de dados.

Conclusões

1. Existe padrão espacial na ocorrência da leprose-dos-citros, e é possível quantificar a pressão de infecção como função do estado da doença em plantas vizinhas.

2. A partir dos modelos ajustados, é possível quantificar a probabilidade de uma planta não infectada passar a mostrar sintomas da doença, de acordo com informações acerca da presença do ácaro vetor e do estado de sanidade das plantas vizinhas, no espaço ou no tempo.

3. A incidência da leprose-dos-citros em plantas vizinhas, tanto dentro da linha de plantio quanto entre as linhas, aumenta a chance de as plantas apresentarem sintomas da doença.

4. A presença do ácaro vetor na planta contribui para quantificar a probabilidade de infecção quando a informação do estado da doença nas vizinhas é incluído no modelo.

Agradecimentos

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo suporte financeiro; ao Fundecitrus, pela concessão dos dados.

Referências

- BASSANEZI, R.B.; LARANJEIRA, F.F. Spatial patterns of leprosis and its mite vector in commercial citrus groves in Brazil. **Plant Pathology**, v.56, p.97-106, 2007.
- BASTIANEL, M.; FREITAS-ASTÚA, J.; KITAJIMA, E.W.; MACHADO, M.A. The citrus leprosis pathosystem. **Summa Phytopathologica**, v.32, p.211-220, 2006.
- BESAG, J. Nearest-neighbour systems and the auto-logistic model for binary data. **Journal of the Royal Statistics Society, Series B**, v.34, p.75-83, 1972.

- BESAG, J. Statistical analysis of non-lattice data. **The Statistician**, v.24, p.179-195, 1975.
- CHIAVEGATO, L.G.; MISCHAN, M.M.; SILVA, M.A. Prejuízos e transmissibilidade de sintomas de leprose pelo ácaro *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae) em citros. **Científica**, v.10, p.265-271, 1982.
- CZERMAINSKI, A.B.C. **Dinâmica espaço-temporal de populações do patossistema leprose-dos-citros em condições naturais de epidemia**. 2006. 91p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- DEMÉTRIO, C.G.B.; CORDEIRO, G.M. Modelos lineares generalizados. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 12., 2007, Santa Maria. **Minicurso...** Santa Maria: UFSM, 2007. 159p.
- GUMPERTZ, M.L.; GRAHAM, J.M.; RISTAINO, J.B. Autologistic model of spatial pattern of *Phytophthora* epidemic in bell pepper: effects of soil variables on disease presence. **Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics**, v.2, p.131-156, 1997.
- KRAINSKI, E.T.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J. **Um pacote para modelos autolísticos**. 2008. Disponível em: <<http://www.leg.ufpr.br/~elias/stLattice>>. Acesso em: 18 jan. 2008.
- KRAINSKI, E.T.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J.; BASSANEZI, R.B.; FRANCISCON, L. Autologistic model with an application to the citrus sudden death disease. **Scientia Agricola**, v.65, p.541-547, 2008.
- MARQUES, J.P.R.; FREITAS-ASTÚA, J.; KITAJIMA, E.W.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. Lesões foliares e de ramos de laranja-doce causadas pela leprose-dos-citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1531-1536, 2007.
- McCULLAGH, P.; NELDER, J.A. **Generalized linear models**. 2.ed. London: Chapman and Hall, 1989. 511p.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2008. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 13 jan. 2008.
- RODRIGUES, J.C.V. **Relações patógeno-vetor-planta no sistema leprose-dos-citros**. 2000. 168p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- ROSSETTI, V.; LASCA, C.C.; NEGRETTE, S. New developments regarding leprosis and zonate chlorosis of citrus. In: INTERNATIONAL CITRUS SYMPOSIUM, 1., 1998, Riverside. **Proceedings...** Riverside: University of California, 1969. v.3. p.1453-1456.
- VIOLA, D.N.; DEMÉTRIO, C.G.B.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J.; MANLY, B.F. Uma avaliação do estimador de pseudo-verossimilhança para modelos autolísticos espaciais. **Revista Brasileira de Biometria**, v.26, p.61-68, 2008.

Recebido em 11 de junho de 2008 e aprovado em 28 de novembro de 2008